

УДК 691.620.17: 691.327



**Носков
Александр
Семенович**

доктор технических наук,
профессор,
заведующий кафедрой
«Гидравлики» Строительно-
го института УрФУ

e-mail: referetsf@yandex.ru



**Руднов
Василий
Сергеевич**

старший преподаватель
кафедры «Технологии
вяжущих материалов
и строительных изделий»
Института материаловедения
и металлургии УрФУ

e-mail: RUDNOV@yandex.ru



**Беляков
Владимир
Александрович**

кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Материаловедение
в строительстве»
Института материаловедения
и металлургии УрФУ

e-mail: 9222283482@mail.ru

НОСКОВ А. С.
РУДНОВ В. С.
БЕЛЯКОВ В. А.

Влияние железистых оксидных пигментов на физико-механические свойства бетона

В статье представлены результаты комплексных исследований по изучению влияния пигментов на прочностные характеристики окрашенного мелкозернистого бетона в разные сроки твердения и на скорость образования высолов. В качестве объекта исследования были взяты пигменты — продукты глубокой переработки отходов обогащения асбестовых руд Баженовского месторождения Свердловской области. Несколько серий экспериментов выявили, что в сравнении с китайскими аналогами они обладают рядом технологических преимуществ: лучшей диспергируемостью и однородностью гранулометрического состава, что позволяет им быстро и равномерно распределяться по всему объему бетона и давать более равномерную окраску изделий.

Ключевые слова: высолообразование, мелкозернистый бетон, прочность при сжатии, пигменты, твердение бетона.

NOSKOV A. S.
RUDNOV V. S.
BEYAKOV V. A.

INFLUENCE OF FERRO-OXIDE PIGMENTS FOR STRENGTH AND OPERATIONAL PROPERTIES OF CONCRETE

The article presents the results of complex studies on the effect of pigments on the strength characteristics of the colour of fine-grained concrete in different periods of hardening and the speed of leaching. As the object of research were taken pigments — products of deep processing of a waste of enrichment of asbestos ores Bagenovo field Sverdlovsk region. Several series of experiments have revealed, that in comparison with Chinese counterparts, they have a number of technological advantages: the best dispersion and homogeneity of the granulometric composition, that allows them to quickly and evenly distributed throughout the volume of concrete and to give a more uniform colouring products.

Keywords: salt efflorescence; fine-grained concrete; compressive strength; pigments; hardening of concrete.

В настоящее время изложенная в современной научной литературе информация о влиянии пигментов на эксплуатационные характеристики окрашенного декоративного бетона при производстве элементов благоустройства в основном имеет рекомендательный характер: не рекомендуется введение пигмента в количестве более 5% от массы цемента. При этом разработанные рекомендации, как правило, сводятся к применению их с позиций однородности окрашивания бетона в различные цвета, интенсивности и сохранения полученной окраски [1–5]. В России пока нет утвержденных государственных стандартов по применению пигментов для окрашивания бетонов

и строительных материалов на основе портландцемента.

За рубежом ситуация обстоит иначе. В Европе и Республике Беларусь применение пигментов для окрашивания строительных материалов регулируется стандартом EN 12 878 «Пигменты для окрашивания строительных материалов на цементном и известковом вяжущем» [6–7].

Наряду с вопросами испытаний стандарт EN 12 878 устанавливает пределы влияния пигментов на темпы твердения цемента и на прочность бетона.

В США действует стандарт ASTM C 979 «Pigments for Integrally Colored Concrete» [8].

Обзор имеющихся научных источников, посвященных исследованию данной пробле-

Таблица 1. Характеристики железистых пигментов

Наименование показателя	Методы испытаний	Баженовское месторождение, П-131, 135	YIPIN S130 (Китай)
Цвет	ГОСТ 16873	Красно-коричневый	Красно-коричневый
Массовая доля соединений железа в пересчете на Fe_2O_3 , %	ТУ 2322-001-73627304-10, пункт 4.3	84–87	94–96
Массовая доля летучих веществ, %	ГОСТ 21119.1, разд. 2	0,3–0,5	0,3–0,5
Массовая доля веществ, растворимых в воде, %	ГОСТ 21119.2	0,5–0,8	0,5–0,8
pH водной суспензии	ГОСТ 21119.3	8,0–9,0	4,0–7,0
Остаток на сите с сеткой № 0045, %	ГОСТ 21119.4, разд. 1а	0,1–0,2	0,3–0,4
Удельная поверхность по БЭТ, м ² /г	—	38–40	7–10
Потери массы при прокаливании, %	ГОСТ 21119.9	0,7–1,0	0,7–1,0
Маслоемкость, г/100 г пигмента	ГОСТ 21119.8	30–35	25–30
Укрывистость, г/м ²	ГОСТ 8784, разд. 1	6–7	7–8
Насыпная плотность, кг/м ³	ГОСТ 19609, 17-89	350–450	600–700

мы, показал, что исследования мелкозернистых бетонов, окрашенных пигментами, проводились недостаточно. В связи с бурным развитием индустрии по производству строительных материалов и увеличением доли архитектурного бетона данные экспериментальные исследования сегодня являются востребованными и актуальными [9–13].

Целью исследований явилось определение влияния количества и вида вводимого пигмента на прочностные характеристики мелкозернистого бетона на разных этапах твердения, а также на количество образующихся высолов на поверхности бетонных изделий.

Характеристика исходных материалов

В данной работе в качестве вяжущего использовали общестроительный серый портландцемент марки ПЦ400 Д20 производства ОАО «Сухоложскцемент». В качестве мелкого заполнителя использовался речной песок производства ЗАО «Каменск-Уральский щебеночный карьер»: $M_{кр} = 4,2$; $\rho_k = 1540 \text{ кг/м}^3$ (в естественном состоянии); содержание пылевидных и глинистых частиц 0,5%; органики не содержит.

Для исследований взяты три вида железистых пигментов красного цвета: YIPIN S130, а также пигменты партии П-135 и партии П-131 — продукты переработки отходов обогащения асбестовых руд Баженовского месторождения Свердловской области (Таблица 1). Ориентировочное количество пигмента для получения бетона требуемой интенсивности окрашивания, рекомендуемое производителями для введения в бетонную смесь, приведено в Таблице 2.

Влияние пигментов на прочность бетонов на сжатие

Для изучения влияния пигментов на прочность мелкозернистых бетонов был выбран состав бетона класса В25 (марка М300), как наиболее распространенный для изготовления декоративных изделий и несущих конструкций, а также удовлетворяющий требованиям ГОСТ 17608–91, ГОСТ 6665–91. Расход сырьевых компонентов для получения бетона класса В25 составил (на 1 м³): цемент — 500 кг, песок — 1500 кг, вода — 300 л (при В/Ц = 60%), пигмент — от 10 до 35 кг (от 2 до 7% от массы цемента).

По указанным дозировкам изготавливали бетонные смеси, затем формовали образцы-балочки размером 40×40×160 мм и кубы со стороной 100 мм. В ходе исследований в лабораторных условиях изготовлено 75 замесов, испытано 2250 образцов с целью определения предела прочности при сжатии. Образцы испытывали после твердения в течение 1, 3, 7, 28 и 56 суток. Образцы набирали прочность при хранении в нормальных условиях — при температуре 20±3°C и относительной влажности 95±5%. Испытания проводились в соответствии с методикой ГОСТ 310.4–81 на сертифицированном испытательном прессе марки «МС-1000».

Установлено, что прочность образцов в возрасте 1 суток (распалубочная прочность) с добавлением пигмента

увеличивается (Иллюстрация 1). Пигмент служит не только в качестве заполнителя, его частицы являются и своеобразными центрами кристаллизации, с которых начинается образование структуры цементного камня. В результате этого происходит ускорение процесса роста кристаллов и более быстрое упрочнение структуры.

В возрасте 3 суток твердения прочность на сжатие образцов мелкозернистого бетона с добавлением пигментов выше по сравнению с прочностью контрольных образцов без него (Иллюстрация 2). Данный эффект может быть объяснен тремя факторами:

- повышенным набором прочности на предыдущих этапах;
- влиянием эффекта уплотнения структуры цементного камня;
- эффектом «магазинирования» воды возле частиц пигмента, ускоряющим образование кристаллогидратов за счет более близкого расположения воды.

После взаимодействия воды, расположенной возле частиц пигмента, возникают воздушные поры, которые при увеличении содержания пигмента оказывают негативное влияние на прочность, выступая в качестве концентраторов напряжения в бетоне.

Установлено, что наибольшее повышение прочности бетона до 108% от прочности бетона без пигментов наблюдается при введении пигмента партии П-135 в количестве 2%

Таблица 2. Ориентировочное количество пигмента, вводимое в бетонную смесь

Интенсивность окрашивания	Количество пигмента, % от массы цемента
Слабо окрашенный бетон	1–2
Средняя интенсивность окрашивания	3–4
Интенсивное окрашивание	5–6

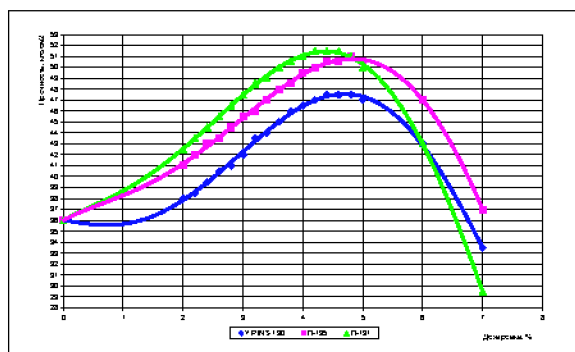


Иллюстрация 1. Зависимость прочности бетона в возрасте 1 суток

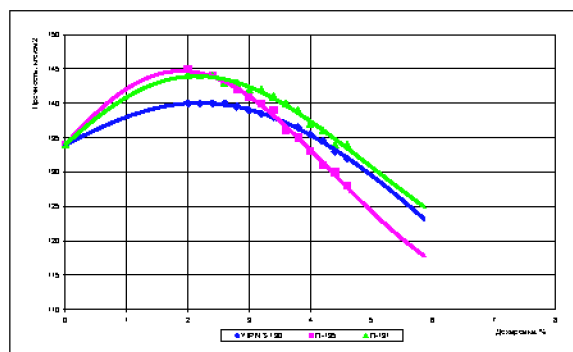


Иллюстрация 2. Зависимость прочности бетона в возрасте 3 суток

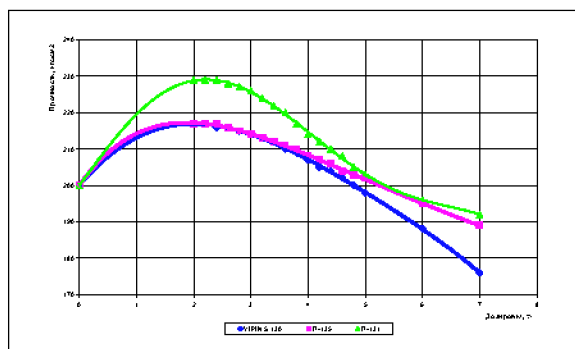


Иллюстрация 3. Зависимость прочности бетона в возрасте 7 суток

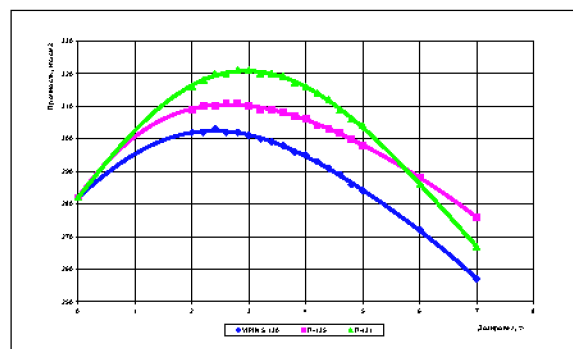


Иллюстрация 4. Зависимость прочности бетона в возрасте 28 суток

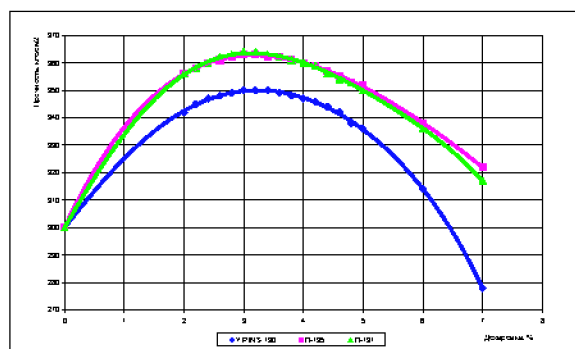


Иллюстрация 5. Зависимость прочности бетона в возрасте 56 суток

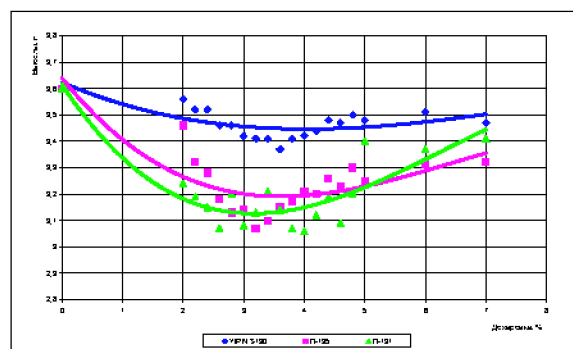


Иллюстрация 6. Зависимость высолообразования от количества и вида пигмента

по массе цемента. При повышении дозировки любого из пигментов свыше 4% наблюдается спад прочности, по-видимому, связанный с преобладанием эффекта образования новых пор.

При твердении в нормальных условиях мелкозернистый бетон обычно на 7-е сутки набирает около 70% от марочной прочности. По результатам экспериментов, приведенных выше после статистической обработки по логарифмическому методу с помощью программного комплекса «Mathstatistica» версии 6.2.2, были получены зависимости прочности на сжатие бетона в возрасте 7 суток от количества и вида вводимого пигмента (Иллюстрация 3).

По приведенным выше графикам можно сказать, что введение пигмента до 5% от массы цемента повышает прочность бетона до 115%. В структуре бетона происходит заполнение новообразованных микропор частицами пигмента, что уплотняет структуру бетона. Максимальное повышение прочности наблюдается при введении пигмента партии П-131 в количестве 2–2,4% от массы цемента и составляет 114–115% от прочности беспигмент-

ного бетона. По результатам экспериментов аналогично были получены зависимости прочности бетона в возрасте 28 суток от количества и вида вводимого пигмента (Иллюстрация 4).

По результатам определения прочности на сжатие при твердении в течение проектного возраста 28 суток можно сделать вывод, что введение пигментов (партии П-131 в количестве до 6%, партии П-135 — до 6,5%, YIPIN S 130 — до 5%) повышает прочность мелкозернистого бетона: с пигментом партии П-131 — до 114%, с пигментом партии П-135 — до 110%, YIPIN S 130 — до 107% относительно контрольных образцов. Обнаруженный эффект происходит вследствие того, что пигменты на начальных этапах твердения выступают в качестве центров кристаллизации, способствуя более быстрому начальному этапу роста кристаллов и в дальнейшем — «магазинированию» воды в структуре цементного камня. Отрицательное влияние на прочность бетона проявляется вследствие образования дополнительного количества микропор, однако они впоследствии заполняются новообразованиями кристаллогидратов клинкерных минералов.



Иллюстрация 7. Образцы-балочки из мелкозернистого бетона на сером цементе с 4% пигмента и кристаллами извести на поверхности

При дальнейшем протекании процессов структурообразования в цементном камне возможен процесс «сброса прочности», объясняемый тем, что новые структуры в микропорах продолжают увеличиваться в объеме и за счет этого возникают внутренние напряженные состояния, снижающие прочность композита в целом. Эти процессы также носят затухающий характер, и для их отслеживания достаточно определять прочность через 56 суток твердения. Результаты данного эксперимента приведены на Иллюстрации 5.

На основании экспериментальных данных можно утверждать, что и в возрасте более 56 суток прочность образцов с добавлением пигментов продолжает увеличиваться ускоренными темпами по сравнению с бетоном без пигментов. Однако частицы пигмента YIPIN S 130 способствуют образованию более крупных пор в цементном камне (механизм описан выше), благодаря чему при большой дозировке этого пигмента прочность бетона оказывается меньше контрольного состава.

Изучение влияния пигментов на высолообразование

Для изучения влияния пигментов на высолообразование использовалась следующая методика. Образцы перед испытанием твердели в течение 28 суток в нормальных условиях. Далее образцы мелкозернистого бетона помещались вертикально в воду, при этом уровень воды составлял 20 мм и оставался постоянным на протяжении 28 суток. За счет постоянного оттока воды из сосуда через тело бетона к его поверхности происходил процесс вымывания извести и кристаллизации ее на поверхности в виде белых кристаллов. Аналогичные процессы происходят при эксплуатации бетонных изделий в реальных условиях на открытом воздухе. Общий вид образцов после испытаний приведен на Иллюстрации 7. Результаты отражены на зависимостях, приведенных на Иллюстрации 6.

Как видно по полученным зависимостям, введение пигментов сокращает высолообразование в мелкозернистых бетонах для декоративных изделий. Однако при превышении определенной дозировки происходит обратный процесс — появляются пустоты, образованные частицами пигментов, что увеличивает количество высолов. Указанная дозировка для бетонов на сером портландцементе для пигмента YIPIN S 130 составляет 3,5% от массы цемента, партий П-135 и П-131 — 5%.

Заключение

- 1 Для улучшения технологических свойств пигментов в производственных условиях рекомендуется перед отгрузкой потребителю проводить их грануляцию для уменьшения угла естественного откоса (снижается

вероятность зависания в бункере и пыление по сравнению с негранулированными пигментами).

- 2 Введение пигментов повышает прочность мелкозернистого бетона в раннем возрасте. При дальнейшем твердении эффект повышения прочности сохраняется, но уменьшается в процентном соотношении.
- 3 Рекомендуемые дозировки пигментов для изготовления бетонов на сером цементе составляют от 2 до 5% от массы цемента в зависимости от желаемого цвета заказчика. В дозировках до 5% пигменты из продуктов переработки отходов асбестовых руд месторождения Баженовское Свердловской области повышают прочность бетона и не снижают его эксплуатационных характеристик. Превышение дозировок приводит к необоснованному увеличению стоимости бетонных изделий, а уменьшение — к недостаточной его окраске.
- 4 Пигменты из отходов асбестовых руд месторождения Баженовское имеют технологическое преимущество перед китайскими аналогами, которое заключается в лучшей диспергируемости пигментов, что позволяет им более быстро распределяться по бетону и давать более равномерную окраску изделий в отличие от пигмента YIPIN S 130. Также они способствуют существенному повышению прочности мелкозернистых бетонов, что связано с микроструктурой пигментов и их гранулометрией.
- 5 Пигменты из продуктов переработки отходов асбестовых руд в пределах рекомендуемых дозировок способствуют снижению высолообразующей способности за счет лучшего уплотнения бетонной смеси и, как следствие, более однородной структуры цементного камня.

Список использованной литературы

- 1 Боженков П. И., Холопова Л. И. Цветные цементы и их применение в строительстве. Л., 1968.
- 2 Вилков С. М. Исследование процесса высолообразования при гидратации декоративного портландцемента и разработка методов его снижения : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Свердловск, 1979.
- 3 Зубехин А. П. Белый портландцемент. Ростов н/Д, 2004.
- 4 Кастровых Л. И. и др. Добавки в бетоны и строительные растворы. М., 2005.
- 5 Купин Г. Цветные и окрашенные цементы // ЦБТИ МПСМ СССР. М., 1974.
- 6 EN 12878:2005 Pigmente zum Einfarben von zement und/oder kalkgebundenen Baustoffen. Anforderungen und Prüfverfahren.
- 7 СТБ EN 12878–2009 Пигменты для строительных материалов на основе цемента и/или извести. Технические условия и методы испытаний/Госстандарт. Минск, 2009.
- 8 ASTM C979 Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete.
- 9 Пячев В. А., Руднов В. С. Белый портландцемент на основе уральских пиррофиллитовых сланцев // Цемент и его применение. 2007. № 6. С. 129–132.
- 10 Пячев В. А., Руднов В. С. Белый портландцемент — средство расширения архитектурного разнообразия // Наука и бизнес: пути развития. 2010. № 2. С. 14–15.
- 11 Руднов В. С. Декоративные бетоны «Уральский камень» // Ремонт, восстановление, модернизация. 2006. № 2. С. 31–35.
- 12 Носков А. С., Беляков В. А. Конструкции из полистирол-бетона для строительства жилых зданий // Жилищное строительство. М., 2008. № 5. С. 24–25.
- 13 Brunauer S., Grenberg S. A. Chemistry of Cement. 1960.